

Gestión Integral del Recurso Hídrico

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y AMBIENTAL DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE CHÍA,
CUNDINAMARCA.**

NATHALIA RODRÍGUEZ ÁLVAREZ 064111056

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director: Jesús Ernesto Torres

**Ingeniero Civil
Magister en Recursos Hidráulicos
Especializado en hidrología**

Universidad Libre

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Octubre de 2016

Declaratoria de originalidad

“El presente de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. El trabajo de tesis es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”

Nathalia Rodríguez Álvarez

Código: 064111056

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
3. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR.....	8
4. OBJETIVOS.....	10
4.1 GENERAL	10
4.2 ESPECÍFICOS	10
5. MARCO REFERENCIAL	11
5.1 ANTECEDENTES.....	11
5.2 MARCO TEÓRICO.....	12
5.3 MARCO LEGAL.....	29
5.4 ÁREA DE INTERES	31
6. METODOLOGÍA.....	34
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS	36
7.1 RÉGIMEN DE FLUJO	38
7.2 TIEMPO DE TRÁNSITO.....	41
7.3 BATIMETRÍA.....	43
7.4 LÍNEAS DE FLUJO	45
7.5 AIREADORES	48
7.6 REACTORES	50
7.7 CALIDAD DEL AGUA.....	50
7.8 MANUAL DE OPERACIÓN	60
8. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
9. CONCLUSIONES.....	63
10. RECOMENDACIONES	65
11. BIBLIOGRAFIA.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios a regular para la generación de olores en las plantas de tratamiento de agua residual.....	19
Tabla 2. Ubicación de puntos generadores de malos olores en las plantas de tratamiento de agua residual.....	20
Tabla 3. Características de diseño lagunas de estabilización	29
Tabla 4. Normatividad	29
Tabla 5. Visitas realizadas.....	37
Tabla 6. Aforo PTAR Chía I.....	39
Tabla 7. Tiempo de tránsito del sistema.....	42
Tabla 8. Diferencias entre un reactor mezcla completa Vs. Reactor flujo pistón.....	50
Tabla 9. Datos multiparámetro Horiba.....	51
Tabla 9. Resultados OD	52
Tabla 10. Análisis de calidad de agua en laboratorio PTAR Chía I.....	56
Tabla 11. Determinación de DQO in situ	57
Tabla 12. Variables de diseño	58
Tabla 13. Diseño ideal Vs. Diseño actual PTAR Chía I	59
Tabla 14. Puntos críticos encontrados durante la investigación	65

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema Planta de tratamiento de aguas residuales Chía.....	38
Ilustración 2. Biodigestor.....	44
Ilustración 3. Entradas de flujo anteriores PTAR Chía I.....	45
Ilustración 4. Esquema líneas de flujo PTAR Chía I.....	47
Ilustración 5. Esquema planta de tratamiento de agua residual.....	48
Ilustración 6. Aireadores	49
Ilustración 7. Esquema Planta de tratamiento de aguas residuales Chía.....	52
Ilustración 8. OD in situ.....	53

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Número de Froude.....	25
Ecuación 2. Remoción reactor pistón.....	28
Ecuación 3. Remoción reactor mezcla completa.....	28
Ecuación 4. Fórmula de tiempo de tránsito.....	45

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Chía Cundinamarca.	31
Mapa 2. Mapa densidad poblacional municipio de Chía Cundinamarca.	36

1. INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación se realizó en el municipio de Chía Cundinamarca, en la planta de tratamiento de agua residual Chía I, con el fin de evaluar el funcionamiento hidráulico y ambiental de la misma, debido a la inconformidad presentada por la población aledaña¹, por la generación de malos olores del sistema de tratamiento.

La planta de tratamiento de agua residual Chía I tiene como característica principal realizar el proceso de tratamiento del agua por dos métodos: primario compuesto por decantación y remoción de grasa y secundario por medio de dos lagunas aireadas y una laguna facultativa, por lo que se entiende que al contar con dos lagunas aireadas no debería generar continuamente mal olor la planta de tratamiento de agua residual.

Esta investigación se llevó acabo con recopilación de información primaria por parte de los trabajadores de la planta, visitas periódicas a la planta, con el fin de documentar el estado físico, la determinación de variables como calidad del agua (pH, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos totales, entre otros), análisis de los datos determinados como caudal, régimen de flujo y tiempo de tránsito, además de recopilación de información bibliográfica, con el fin de soportar y argumentar el desarrollo de la investigación.

Durante el proceso de investigación se presentaron limitaciones operativas del sistema de tratamiento, ya que éste no estaba trabajando completamente, debido a que una de las lagunas aireadas presentaba continuas fallas, por lo que se decidió que para el desarrollo de la investigación se iban a estudiar solo dos lagunas con el fin de tener datos continuos, adicional a ello el difícil acceso a la planta de tratamiento, puesto que por parte de los responsables del sistema se presentaban prohibiciones de entrada; y las fallas continuas del equipo (multiparámetro) generando datos erróneos y retraso de la investigación.

¹ Aproximadamente 126.647 (el 0.15%) del total de la población del municipio.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Chía (Cundinamarca) situado al norte de Bogotá con un área total de 80 Km², tiene aproximadamente 126.647 habitantes²; este municipio cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) designada como Chía I, administrada actualmente por ESMERCHIA, empresa encargada de los servicios públicos del municipio.

Esta planta fue construida en la que antes, era zona rural del municipio, alejada del sector económico y de vivienda, la cual fue puesta en marcha hace 25 años (Alcaldía municipal de Chía Cundinamarca, 2013). Con la evolución del municipio y el crecimiento poblacional, Chía comenzó a perfilarse como un municipio turístico y dormitorio, llevándolo a la construcción de centros comerciales entre ellos: Centro Chía y Jumbo. También se promovió la construcción de viviendas y entidades de salud (hospitales y Teletón). Todos estos ubicados a los alrededores de la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que trajo inconvenientes con aproximadamente 200 habitantes.

Al ser un sistema aerobio, por su generalidad, no debe exteriorizar olores incómodos de los vertimientos tratados allí, encontrándose que actualmente las lagunas presentan características anaerobias generando olores molestos, intensificándose en épocas de lluvia (Torres, 2014).

Los interrogantes que esta propuesta planea resolver respecto al estudio de funcionamiento hidráulico y ambiental de la planta de tratamiento para la determinación de variables influyentes en la generación de olores son:

¿Cuáles son las características principales del funcionamiento actual del sistema de tratamiento?

² Alcaldía Municipal de Chía Cundinamarca; *Caracterización poblacional Chía Cundinamarca*; 2015; p. 7; <http://chia-cundinamarca.gov.co/planeacion/AnalisisdemografiaChia2015.pdf>

¿Cuáles son las características físico-químicas del funcionamiento actual del sistema de tratamiento?

3. JUSTIFICACIÓN INICIAL O PRELIMINAR

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son importantes para la comunidad, ya que éstas cumplen la función de reducir los contaminantes del agua que se generan en una población, contribuyendo con la protección del medio ambiente y la salud de las personas que están expuestas al contacto con estos vertimientos. Las plantas de tratamiento de agua residual se derivan en tres tipos de sistemas de tratamiento los cuales son: aerobio, anaerobio y de floculación iónica. (Lizarazo & Orjuela, 2013).

Algunas de las plantas de tratamiento de agua residual constituyen un problema molesto para la comunidad, ya que son causantes de producir olores pútridos, lo cual genera rechazo por parte de la población. Estos olores pueden ser producidos por falta de mantenimiento, mal manejo de maquinaria, entre otros factores mecánicos; por factores físicos, químicos o biológicos de los compuestos que tenga el agua a tratar (Morgan, Revah, & Noyola, S.f).

Los sistemas de tratamiento de agua residual que operan en condiciones anaerobias producen ocasionalmente olores molestos para las comunidades contrario a un sistema aerobio, ya que estas plantas contienen bacterias anaerobias que pueden originar desprendimiento de sulfuro de hidrógeno encontrado generalmente en este tipo de sistemas.

Este proyecto es importante dado que se presenta el estado actual de la PTAR Chía I y con base en ello genera recomendaciones que pueden implementarse en el sistema para controlar o disminuir la emisión de olores incómodos que en este momento se están originando por los gases presentados.

Los problemas operacionales de las plantas de tratamiento de agua residual son factores que contribuyen a la generación de malos olores en las mismas, por ello es importante estudiar las variables de funcionamiento para determinar si un sistema de tratamiento no está trabajando correctamente, las fallas operacionales pueden generarse en: el sistema de aireación, arrastre de sólidos, abultamiento de lodos y turbiedad en el efluente (Carlini, 2003).

Por ello es fundamental tener conocimiento de todas las etapas que componen la planta de tratamiento de agua residual del municipio, identificando la maquinaria y el tipo de lagunas, el funcionamiento hidráulico y la calidad del agua que en este caso son esenciales en el proceso de tratamiento de aguas (Juana, 2005).

Con esta investigación se verán beneficiados sectores sociales y ambientales los cuales son:

- A. La comunidad, ya que se establecerán las variables causantes de la generación de los gases con olor pútrido en las lagunas y así mismo corregirlo, evitando molestias con la población aledaña.
- B. Las industrias, empresas que vierten sus aguas residuales al alcantarillado y este a su vez direcciona el agua a la planta de tratamiento de aguas residuales de Chía ya que las empresas tienen la responsabilidad de verificar y gestionar que sus desechos sean tratados para disminuir la contaminación que éstos producen.
- C. El río Bogotá ya que la planta de tratamiento de aguas residuales de Chía Cundinamarca vierte el agua tratada en la parte media de la cuenca del río lo cual es muy importante para la reducción de la contaminación del mismo (López, 2003).
- D. Los componentes ambientales que hacen parte del sistema de aguas, fauna, flora y suelo de las diferentes zonas por donde fluye el agua tratada.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar el funcionamiento hidráulico y ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Chía Cundinamarca.

4.2 ESPECÍFICOS

- Analizar 6 características del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales Chía I.
- Medir y comparar con parámetros ideales las características físico-químicas del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales Chía I.
- Actualizar el manual de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Chía Cundinamarca, con base en los resultados generados en los anteriores objetivos.

5.MARCO REFERENCIAL

En el siguiente marco se encontrará información acerca del estado de la planta, proyectos que se han querido realizar con ella y las variables directamente relacionadas al funcionamiento actual de la planta de tratamiento relacionados con la generación de olores incómodos, con el fin de proporcionar más claridad al problema a solucionar.

5.1. ANTECEDENTES

Alrededor del 0.15 % de los habitantes del municipio de Chía Cundinamarca están sintiendo inconformidad con los olores pútridos que está generando la planta de tratamiento de agua residual Chía I, ubicada cerca al sector económico, turístico y de vivienda del municipio. Esto se viene generando desde el 2009, lo cual ha llevado a los administradores de los locales a trasladarse de ubicación, ya que está bajando su economía y la población a interponer acciones legales a los encargados del sistema.

La Corporación Autónoma Regional dice que el problema de esta planta es el crecimiento poblacional, afirma que la afectación producida por malos olores es alrededor del 20% de los habitantes; sin embargo algunos artículos resaltan que se han invertido aproximadamente \$1.500 millones para optimizarla (El Tiempo, 2009).

Recientemente ESMERCHÍA quien tiene a su cargo la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Chía I, ha comunicado que en cooperación con los empresarios de La Sabana se proveerá de productos enzimáticos a la planta de tratamiento de agua residual con el fin de reducir los olores generados por ésta.

Este artículo lo dio a conocer ESMERCHIA en el año 2014 afirmando que para finales de ese año se iniciaría la utilización de dichos productos (ESMERCHÍA E.S.P, 2014).

En una visita en el mes de abril del 2015, se encontró que en el mes de marzo se había puesto en marcha el proyecto de ESMERCHIA, con colaboración de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y los empresarios asociados, sobre la utilización de enzimas para las lagunas con el fin de reducir los malos olores generados por el sistema, encontrándose todavía olores pútridos producidos por la planta de tratamiento de agua residual Chía I.

5.2 MARCOTEÓRICO

El siguiente marco relaciona los conceptos de los diferentes tratamientos de agua y de los procesos y variables de los mismos, con el fin de proporcionar al lector mayor información sobre el tema tratado.

5.2.1. El agua: es uno de los recursos vitales que tiene todo ser vivo, este recurso está presente en la tierra aproximadamente en un 97% en forma líquida, sólida y gaseosa (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 1996). Aunque es el elemento más abundante en la tierra, éste se encuentra aproximadamente en un 2.5% como agua dulce, en ríos, lagunas, lagos entre otros y el porcentaje restante se encuentra como agua salada en los océanos. El hombre es uno de los seres vivos que más se apropia de este recurso y es uno de los actores principales para el desarrollo del ciclo hidrológico. Con el crecimiento de poblacional aumenta el consumo y así mismo el agotamiento del agua; adicionalmente las actividades del ser humano hacen que este recurso escasee por la contaminación que producen los desechos humanos, industriales, químicos o agrícolas.

Por ello es importante la implementación de estrategias que mitiguen estos impactos en el medio (Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, 2003).

5.2.1.1 Clasificación del agua por su origen: con la evolución del hombre, el crecimiento poblacional y los nuevos usos del agua, se empezó a notar la contaminación a la cual estaba expuesto este recurso vital. Las sustancias que están contenidas en agua son las que definen la clasificación de la misma y el tratamiento que se le debe realizar. Estas sustancias pueden encontrarse solubles o insolubles en el agua.

A continuación se muestra la clasificación del agua según su origen.

- **Agua residual doméstica:** las aguas residuales domésticas o también llamadas urbanas son aguas que han sido vertidas por un grupo poblacional urbano, estas aguas residuales así mismo son clasificadas según las actividades domésticas de una población (Félez, 2009).
- **Aguas negras:** las aguas negras son aguas que han sido mezcladas con algún tipo de flujo corporal, una vez mezclada el agua ya no puede ser utilizada de nuevo sin un tratamiento previo ya que el agua ya está contaminada, este tipo de aguas negras se pueden encontrar en sectores domiciliarios, centros comerciales, entre otros (Félez, 2009).
- **Aguas de lavado doméstico:** estas aguas de lavado son también llamadas aguas grises, estas aguas son combinaciones de agua y agua de lavado, no tienen componentes fecales, estas se pueden encontrar en vertidos de lavado de ropa, de comida, de

espacios ocupados por personas; en estas aguas es muy común encontrar sustancias solidas insolubles como arena, tierra, grasas entre otras (Félez, 2009).

- **Aguas de drenaje:** las aguas de drenaje son aguas que se encuentran en las calles, presentan un volumen más pequeño ya que depende de los vertidos locales de la zona (Félez, 2009).
- **Agua de lluvias y lixiviados:** es el agua que cae de las nubes, este tipo de agua no es pura, ya que al caer tiene contacto con algún objeto bien sea líquido, solido o gaseoso lo que generaría en alguno de los casos lixiviados. Este tipo de aguas se encuentran en todo tipo de zonas bien sea residenciales o industriales (Félez, 2009).
- **Agua residual industrial:** son aguas generadas por combinaciones de agua y de las actividades del hombre con algún proceso industrial, bien sea de producción, fabricación o manipulación de algún tipo de producto, el agua residual industrial no presenta ningún caudal estándar, esto depende de la producción de la fábrica, por ello el tratamiento de este tipo de aguas es de estudio detallado, ya que se debe determinar los contaminantes y las concentraciones de los mismos para establecer cómo tratarlos (Félez, 2009). Este tipo de aguas es una de las más contaminantes que afectan los cuerpos de agua, los vertimientos de agua residual no debe ser combinada con cuerpos de aguas industriales, incluso existen normativas que limitan los vertimientos de aguas residuales industriales a cuerpos de agua natural (Félez, 2009).
- **Aguas residuales o servidas:** son las aguas que han sido modificadas tanto física como químicamente por acción del hombre, este tipo de aguas debe ser tratada antes de ser vertida en un cuerpo de agua ya que por sus componentes, esta genera riesgo a las personas que tienen contacto directo con ellas, este tipo de agua se caracterizan por

que una vez de ser usadas no se pueden usar para alguna otra actividad (Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

- **Características de agua servida:** el agua servida o también conocida como agua residual está compuesta por residuos líquidos domésticos, comerciales o industriales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010).

Se encuentran clasificadas las siguientes variables físicas que se pueden encontrar en un muestreo de agua.

- **Sólidos:** se define como la materia que está en dentro del agua residual, existen varios tipos de sólidos lo cuales se encuentran, los sólidos sedimentables, éstos se encuentran después de someter el agua en el proceso de sedimentación, los sólidos filtrables y no filtrables (Hammeken & Romero, 2005)
- **Olor:** los olores son generados por la descomposición de la materia orgánica, lo cual produce una reducción bioquímica produciendo sulfatos y sulfitos que son quienes por su composición generan malos olores; se considera que la generación de olores pútridos de las pantas de tratamiento es la principal causa de rechazo de la implantación de este tipo de sistemas en una determinada región (Hammeken & Romero, 2005).
- **Temperatura:** la temperatura varía según el lugar donde este depositada el agua y los cambios climáticos que tenga dicho lugar en las diferentes temporadas del año; el aumento de la temperatura puede acelerar la descomposición de la materia orgánica (Cubillos, S.f).

- **Color:** inicialmente el color del agua residual es grisáceo, con el transporte entre las alcantarillas y con el pasar del tiempo se oscurece llegando a una tonalidad gris oscuro o negro, este color es generado principalmente por la formación de sulfuros liberados en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Hammeken & Romero, 2005).
- **Turbiedad:** la turbiedad o turbidez es un parámetro utilizado para determinar la calidad de agua (Hammeken & Romero, 2005). Este parámetro consiste en la medición de la claridad de agua debido a la presencia de partículas en suspensión, mientras más contenido de arena, arcilla, tierra, entre otros sólidos esta contenga más turbia será el agua (González, 2011).

Según sus características químicas en esta clasificación se encuentra.

- **Materia orgánica:** la materia orgánica en aguas residuales se mide en términos de DBO y DQO, puesto que con niveles altos de estos parámetros se considera causante de agotamiento de recursos naturales y el aumento de probabilidades de condiciones sépticas (Sans & Ribas, 1989).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** es un parámetro que se determina comúnmente en plantas de tratamiento de aguas residuales para evaluar la eficiencia de remoción dichos sistemas. La DBO₅ es un ensayo que se realiza con un periodo de incubación de 5 días para determinar cuál es la cantidad de oxígeno usado para oxidar la materia orgánica en ese periodo de tiempo (ICONTEC, 2014).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** es un indicador de vertimientos que determina la cantidad de oxígeno que requiere la materia orgánica para ser oxidada en agua residual, bajo las condiciones de temperatura y tiempo (ICONTEC, 2013).

- **Materia inorgánica:** los compuestos inorgánicos que se pueden encontrar en el agua residual pueden ser sales, que generalmente están en la solución, nutrientes como el nitrógeno, fosforo, elementos como hierro, calcio, cobre, potasio, sodio, magnesio, manganeso, así como también elementos tóxicos como plomo, cromo , mercurio, cianuro, ácidos, entre otros (Cubillos, S.f).
- **Oxígeno disuelto:** es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua, a mayor cantidad de oxígeno disuelto mayor es la calidad del agua, el oxígeno disuelto es uno de los principales métodos de determinación del nivel de contaminación del agua (Corporación Autónoma Regional de Nariño, 2011).
- **pH:** el potencial de hidrógeno es el logaritmo negativo de los iones de hidrogeno del agua, los niveles de pH están dados de 0-14, se determina un agua acida cuando el valor de pH sea menor 7 y básica cuando su pH sea arriba de 7, el potencial de hidrógeno es un indicador muy importante para la determinación de la vida en el agua pura (Guerrero & Pujol, S.f).

El potencial de hidrogeno en aguas residuales es un parámetro importante de determinar ya que en Colombia es un parámetro regido por la resolución 631 de 2015 la cual reglamenta los parámetros y valores límites permisibles de los mismos para vertimientos puntuales, adicional a ello el pH puede generar condiciones peligrosas si el agua está en rango acido (Cubillos, S.f).

Según sus características biológicas en esta clasificación se encuentra.

- **Microorganismos:** los organismos presentes en el agua residual principalmente son organismos eucariotas, bacterias, estos son muy importantes en el tratamiento de aguas residuales ya que son los encargados de descomponer la materia orgánica (Hammeken & Romero, 2005).

- **Organismos patógenos:** son los organismos que generan un grado de contaminación a las aguas residuales, estos proceden de desechos humanos o animales, los cuales generan enfermedades a quien tenga contacto directo con estas aguas (Hammeken & Romero, 2005).

5.2.2 Tratamiento de agua residual: el saneamiento público es uno de los aspectos más importante para las comunidades ya que al contacto con determinadas sustancias en el agua contaminada genera diferentes problemas de salud, el tratamiento de agua residual es un mecanismo que ayuda a mejorar el saneamiento público de una comunidad sin importar cuál sea el mecanismo que se implementará en el tratamiento del agua, el objetivo principal del mecanismo será la minimización de contaminación del agua y así la reducción de enfermedades y un equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Comisión Nacional del Agua , 2013).

- **Planta de tratamiento de aguas residuales:** es un sistema de tecnológico para tratar aguas residuales con el objetivo de minimizar los riesgos de contagio de enfermedades a una determinada comunidad, el tratamiento de aguas residuales debe ser entendido como una necesidad de saneamiento público generando así calidad de vida de la población (Mariñelarena, 2006).

Es importante que antes de hacer la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales se realice un estudio de impacto ambiental considerando las ventajas y desventajas que conlleve la implantación de un sistema de estos a una determinada comunidad (Ministerio de Desarrollo Económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000).

- **Tratamiento anaerobio:** el tratamiento anaerobio es una transformación de la materia orgánica sin la presencia de aire, esta transformación se realiza por la capacidad de transferencia de los electrones de la materia orgánica convirtiéndola en lodo en un rango de 3%-10% (Rodríguez, S.f).
- **Tratamiento aerobio:** el tratamiento aerobio tiene procesos catabólicos oxidativos, es decir se necesita un agente oxidante artificial como aireadores mecánicos , ya que el agua residual no tiene la capacidad de generar uno por sí solo, se suministra artificialmente generalmente por medio de aireadores mecánicos, esto conlleva a un crecimiento energético y económico del funcionamiento de la planta, así como también un crecimiento de lodos generados por la materia orgánica presente en el agua (Rodríguez, S.f).

En la siguiente tabla se podrán encontrar diferentes parámetros a evaluar en un sistema de tratamiento de aguas aerobio que presente generación de malos olores.

Tabla 1. Criterios a regular para la generación de olores en las plantas de tratamiento de agua residual.

PARÁMETROS	PROBLEMA
Limitaciones de pH	A pH por debajo de 8.0, el sulfuro cambia a sulfuro de hidrogeno gaseoso.
Temperatura	Altas temperaturas incrementan la acción microbial de bacterias anaerobias. Altas temperaturas incrementan la liberación de componentes orgánicos volátiles del líquido a la fase gaseosa.
Descargas toxicas	Inhibe o mata microorganismos involucrados en sistemas de tratamiento
Aceites y grasas	Se pueden degradar anaerobiamente.
Descargas	Gases olorosos.

(Ministerio de Desarrollo Económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000)

En la siguiente tabla se pueden encontrar la interacción entre los diferentes puntos de un sistema de tratamiento de aguas con diferentes materiales encontrados en los mismos que pueden dar lugar a generación de gases con mal olor dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 2. Ubicación de puntos generadores de malos olores en las plantas de tratamiento de agua residual

Agente generador de olores. Instalación	Aguas residuales	Arenas	Material cernido	Espumas	Lodos	Desechos orgánicos sobre la superficie	Áreas de corto circuito
Alcantarillados	X						
Estaciones de bombeo	X			X		X	X
Desarenadores	X	X		X	X	X	
Rejillas	X		X			X	
Manejo de arenas, grasa y material cernido	X	X	X	X	X	X	
Tanques de homogenización	X			X	X	X	
Tanques de sedimentación primaria	X			X	X	X	X
Adición química	X						
Tanques de aireación	X						X
Lagunas	X			X		X	
Biodiscos	X					X	
Tanques de sedimentación final	X			X	X	X	X
Filtros de medio granular	X					X	
Bombeo de lodos					X	X	
Espesamiento de lodos				X	X	X	
Almacenamiento de lodos				X	X	X	
Acomodamiento de lodos				X	X	X	
Secado de lodos	X			X	X	X	
Digestión de lodos					X	X	
Canales para drenaje	X			X	X	X	X
Tanques de contacto químico						X	X
Incineración de lodos					X	X	
Compostaje de lodos					X	X	

(Ministerio de Desarrollo Económico, dirección de agua potable y saneamiento básico, 2000)

5.2.3 Niveles de tratamiento de agua residual: los diferentes niveles o procesos de tratamiento de aguas residuales dependen de las sustancias que contenga el agua, es decir de la cantidad de DBO (demanda biológica de oxígeno), sólidos suspendidos (entre los que se verifica su tamaño), pH y los productos tóxicos que ésta contenga. Su división se hace en tres grandes grupos los cuales se diferencian porque cada uno de los procesos trata el agua física, química y biológicamente (Ramalho, 1993).

- **Pre tratamiento:** o también llamado tratamiento preliminar son un grupo de métodos los cuales ayudan a remover las grandes partículas del agua residual, con el fin de generar un mayor grado de eficacia en el proceso general de tratamiento de aguas residuales (Carvajal & Esparragoza, 2008).

➤ **Cribado:** también llamado desbrozo se emplea para captar sólidos en suspensión de distintos tamaños, se hace por medio de mallas o tamices; una vez recolectados los sólidos se eliminan por medio de incineración o procesos de digestión anaerobia.

El cribado es esencial para el sistema de tratamiento, su limpieza puede ser manual o mecánicamente, ya que como se hace por medio de mallas si no se hace una nueva limpieza puede empezar a generar taponamiento en la entrada del agua residual al sistema; entre más pequeños sean los orificios de la malla más eficaz es el proceso de tratamiento porque retendría la mayor cantidad de sólidos posibles (Ramalho, 1993).

- **Desarenado:** este proceso consiste en separar las partículas gruesas contenidas en el agua residual, normalmente en este proceso son retiradas las partículas mayores a de 0,2 mm, esto se hace con el fin de mejorar y ayudar en el proceso general del tratamiento y para cuidar el estado óptimo de la maquinaria utilizada como las bombas y las tuberías, ya que estas partículas podrían generar problemas mecánicos en ella (Organización Panamericana de la Salud, 2005).
- **Trampa de grasas:** las trampas de grasas y aceites consisten en la separación de grasa por medio de diferencia de densidades de cada una de estas sustancias contenidas en el agua residual, en las trampas de grasas también se puede hacer separación de sólidos por el mismo método anteriormente mencionado, para el diseño de la trampa de grasas es necesario conocer el caudal que entra al sistema de tratamiento, la temperatura del agua, la gravedad que esta tiene y viscosidad (Contreras, 2006).
- **Tratamiento primario:** es un conjunto de procesos que van encaminados a remover sólidos sedimentables o materia en suspensión, en el tratamiento primario se alcanza a remover un 50% de sólidos del agua residual (Carvajal & Esparragoza, 2008).
- **Sedimentación:** la sedimentación es el proceso más simple y más utilizado en el tratamiento de aguas residuales, este proceso consiste en separar por gravedad los sólidos que el agua residual contiene, estos dependiendo del peso específico que tengan cada uno de ellos (Valencia, S.f).

➤ **Flotación:** consiste en la eliminación de sólidos de diferentes densidades, se hace con el fin de reducir la mayoría de partículas del agua, este proceso radica en la incorporación de aire al sistema lo que genera burbujas con las que se pueden eliminar los sólidos de mayor densidad que el agua; estos sólidos se adhieren a las burbujas y suben a la superficie debido a la despresurización del sistema entre 2 y 4 atmosferas. Este proceso se puede hacer en el mismo lugar en donde se hace la decantación y en algunos casos también es utilizado para la eliminación de grasas (Ramalho, 1993).

- **Tratamiento secundario:** este tratamiento relaciona todos los métodos biológicos de un sistema de aguas residuales bien sea de forma aerobia o anaerobia, este tratamiento se realiza con el fin de generar optimización al proceso de descontaminación en la parte orgánica del agua; en este tipo de tratamientos es importante para este tipo de tratamientos reconocer la temperatura y el pH del a agua a tratar (Ramalho, 1993).
- **Aireación:** es un proceso en el cual en agua se pone en contacto en aire con el fin de modificar las concentraciones contenidas en el agua residual, este proceso influye en el aumento de oxígeno disuelto, la disminución de concentraciones de dióxido de carbono así como también del ácido sulfhídrico, remueve los compuestos orgánicos volátiles y gases como cloro metano y amoníaco (Romero J., 2002).

Este es uno de los procesos que más necesita de energía ya que utiliza maquinaria como turbinas, aireadores mecánicos, entre otros; la aireación es muy utilizada en el tratamiento de aguas residuales por su capacidad de remover olores y sabores del agua (Romero J., 2002).

- **Lagunas:** también llamadas lagunas de estabilización son excavaciones de suelo donde es almacenada el agua residual con ayuda de bacterias, algas y otros microorganismos para ser tratada, es importante que a la hora de hacer la excavación y determinar la forma que tendrá la laguna, ésta se deberá recubrir de algún material impermeable con el fin de proporcionar mayor seguridad al terrero en caso de filtración de agua; las lagunas de estabilización están clasificadas según su reacción biológica y existen tres tipos (Comisión Nacional de Agua , 2007).
- **Lagunas anaerobias:** lagunas en donde son usados microorganismos anaerobios (sin presencia de oxígeno) para el tratamiento de agua residual descomponiendo la materia orgánica (Comisión Nacional de Agua, 2007).
- **Lagunas aerobias:** lagunas donde se estabiliza la materia orgánica soluble en el agua por medio de aireación externa natural o artificialmente (Comisión Nacional de Agua, 2007).
- **Lagunas facultativas:** es una laguna donde se hace la descomposición combinando los dos métodos utilizados en las lagunas anteriores. Este tipo de lagunas en su superficie utilizan microorganismos aerobios y en la parte inferior microorganismos anaerobios, ocasionalmente en este tipo de lagunas también es suministrado aire artificialmente (Comisión Nacional de Agua, 2007).

- **Características hidráulicas de lagunas de tratamiento de agua residual:**

En la siguiente clasificación se encuentran variables hidráulicas estudiadas en las plantas de tratamiento de agua residual.

- **Régimen de flujo:** el régimen de flujo es fundamental en el estudio hidráulico ya que expresa el comportamiento del fluido a través de un canal, para la determinación de régimen de flujo, tomando como teoría para el desarrollo de la investigación el número de Froude.

Con la determinación del número de Froude se determina el comportamiento de un fluido a través de un canal abierto regido por efectos de la profundidad, la gravedad y la velocidad, clasificando el comportamiento en tres tipos (Mott, 1996):

- Subcrítico: número de Froude < 1
- Crítico: número de Froude $= 1$
- Supercrítico: número de Froude > 1

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}}$$

Ecuación 1. Numero de Froude

En donde:

NF: Número de Froude

v: velocidad promedio

g: gravedad

H: profundidad hidráulica

- **Tiempo de tránsito:** también conocido como tiempo de retención, es el tiempo promedio en la que una partícula puede residir en el agua (Persson, 2000). El tiempo de tránsito está dado bien sea por la masa, la concentración o variables como el volumen, velocidad o caudal de las lagunas.
- **Líneas de Flujo:** las líneas de flujo o líneas de trayectoria determinan la dirección y velocidad del flujo (Sámano & Sen, 2009), la determinación de líneas de flujo da a conocer las zonas muertas que se pueden estar presentando en las lagunas, así como también los cortocircuitos que se pueden presentar por la dirección del viento o conexión de fluidos en direcciones contrarias reduciendo el volumen efectivo de las lagunas aumentando la posibilidad de sobrecargas y generación de malos olores en las mismas (Mendoca, 2002).

- **Batimetría:** El levantamiento batimétrico consiste en la medición de las profundidades de cuerpos de agua y así mismo determinar la las estructuras morfológicas del cuerpo de agua estudiado, las técnicas usadas para la determinación de profundidades son la utilización de miras o la utilización ondas sonoras. Ésta última es más utilizada para cuerpos de agua muy grandes con ayuda de barcos (Romero & Mejía, 2007).
- **Reactores:** todos los tanques o lagunas de estabilización son conocidos como reactores, los cuales están caracterizados dependiendo el tipo de mezcla, caudal, energía, volumen y dimensiones (Ramalho, 1993).

A continuación se mencionarán los tipos de rectores y sus características.

- **Reactor Aerobio:** este tipo de reactores se basa en el método de lodos activado, el cual es utilizado para el tratamiento de aguas domesticas e industriales, el proceso de los reactores aerobios es someter al agua residual a aireación continua, la cual produce una reducción de la materia orgánica produciendo lodo (Ramalho, 1991).

El lodo activado está compuesto por microorganismos de diversas clases, tales como bacterias unicelulares, hongos o algas, de las cuales las bacterias son las más encontradas en los sistemas de tratamientos biológicos, se espera que en este tipo de reactores se genere una remoción del 70% materia orgánica (Ramalho, 1991).

- **Reactor Anaerobio:** este tipo de reactor es usado en el tratamiento de aguas residuales con el fin de degradarlas, produciendo metano y dióxido de carbono en pequeñas cantidades, las bacterias facultativas y anaerobias, son las encargadas de realizar el proceso de degradación; en este proceso no se encuentran valores significativos de reducción de DQO. Se espera que la remoción de materia orgánica en este tipo de reactores sea del 30% (Ramalho, 1991).

A continuación se presentan los reactores ideales.

- **Flujo pistón:** el reactor flujo pistón es un tipo de reactor que no hace variación al caudal de entrada y este está expuesto al mismo tiempo de retención, no existe en éste ningún tipo de mezcla, la reducción de concentración de sustancias biodegradables se realiza a través de actividades biológicas y presenta uniformidad en la cantidad de biomasa (Ramalho, 1993).

Remoción de concentración de sustancias biodegradables

$$\frac{S_o}{S_e} = e^{-k_i \cdot t}$$

Donde,

Ecuación 2. Remoción reactor pistón

S_o = Concentración inicial del sustrato, mg/l

S_e = Concentración final del sustrato, mg/l

K_i = Tasa constante de remoción del sustrato, día⁻¹

t = Tiempo de retención hidráulica, días

- **Mezcla completa:** es un reactor en el cual todos los elementos del caudal son instantáneamente mezclados, encontrándose que la concentración y el caudal del reactor es la misma que la del efluente, el flujo de entrada y de salida siempre son constantes y presenta buenas condiciones de viento o aireación artificial, se localizan puntos de entrada y salida (Ramalho, 1993).

Remoción de concentración de sustancias biodegradables

$$\frac{S_o}{S_e} = \frac{1}{1 + k_i * t}$$

Ecuación 3. Remoción reactor mezcla completa

Donde,

So= Concentración inicial del sustrato, mg/l

Se= Concentración final del sustrato, mg/l

Ki= Tasa constante de remoción del sustrato, día⁻¹

t= Tiempo de retención hidráulica, días

- **Flujo mixto:** este tipo de reactores también conocidos como reactor de flujo arbitrario, corresponden a un tipo intermedio entre el reactor de flujo pistón y mezcla completa, constituye un caso de flujo continuo pero de mezcla incompleta o variable, el analisis de este tipo de reactores es más compleja debido a que su tiempo de retención no es la misma en los diferentes puntos de la laguna (Ramalho, 1993).
- **Características de diseño de lagunas de estabilización:** a continuación se relaciona las características de diseño para las lagunas de estabilización.

Tabla 3. Características de diseño lagunas de estabilización

CRITERIO	LAGUNA		
	AEROBIA	FACULTATIVA	ANAEROBIA
Profundidad (m)	0.15-0.45	1.00 - 2.50	2.50 - 4.50
Tiempo de retención (días)	2-6	7-50	5-50
Kg DBO5/ ha día	100 - 200	200 - 500	250 - 4000
% DBO eliminada	80 - 95	79 - 95	50 - 80
Concentración de algas mg/L	100	10 a 50	-----

(Eckenfelder, 197

5.3 MARCO LEGAL

En el siguiente marco se encontrarán las normas que regulan relacionados con el agua tanto potable como residual, con el fin de reconocer la normatividad colombiana en cuanto al tema de interés de esta investigación.

Tabla 4. Normatividad

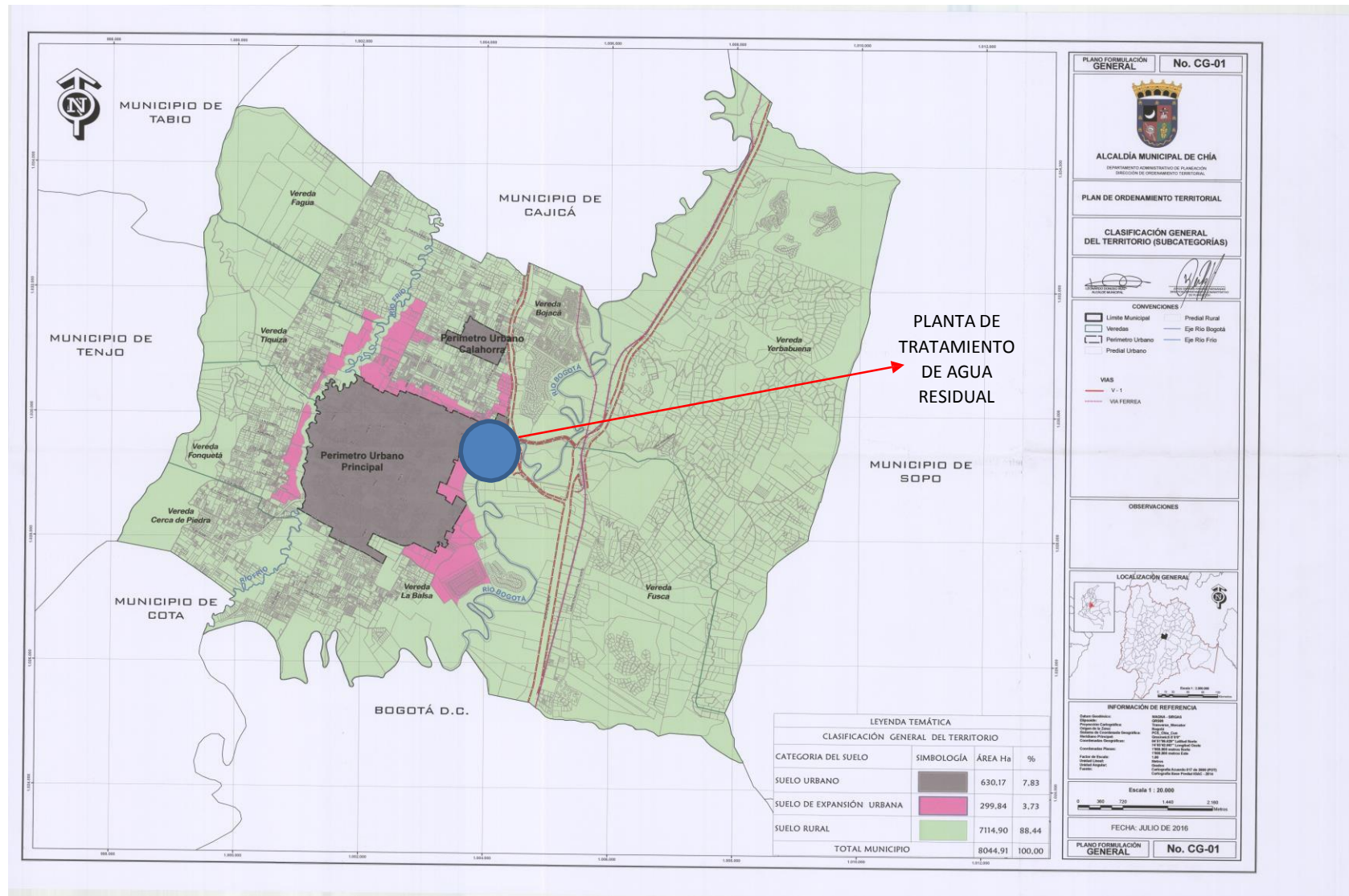
NORMA	DESCRIPCIÓN
Ley 9 de 1979	Establece las medidas sanitarias que deberán tener presentes para la utilización y manejo de los residuos que se dispondrán al medio ambiente; en el caso del recurso del agua, el cual es el que compete en este proyecto la ley reglamenta los controles sanitarios que se deben disponer para la utilización del mismo; todo vertimiento líquido debe ser tratado y el ministerio de ambiente es el encargado de verificar la calidad del agua para los diferentes sectores productivos y los mecanismos eficientes para tratar dicho recurso (Ministerio de Salud , S.f).
Ley 99 de 1993	Se establece el Sistema Nacional Ambiental fundamentando la política ambiental Colombiana, la estructura y objetivos del mismo. Se determinan las funciones que tendrá el Sistema Nacional Ambiental, entre ellas la expedición de licencias ambientales, planificación ambiental, control del cumplimiento de la ley; se nombrarán los entes participantes en el Sistema Nacional Ambiental y las funciones regionales asignadas a los mismos (Congreso de Colombia , 1993).
Decreto 1594 de 1984 Art. 20 – 21	En los cuales se consideran las sustancias de interés sanitario y se hace referencia que un usuario de interés sanitario es aquel cuyos vertimientos contengan las sustancias mencionadas en el Art. 20 del presente decreto (Ministerio de Cultura, 1984).
Decreto 2667 de 2012	Por el cual es reglamentada la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales, establece a la autoridad ambiental competente a implementar metas de cargas contaminantes para cada cuerpo de agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)
Decreto 3930 de 2010	Se decreta las disposiciones, vertimientos y ordenamiento del recurso hídrico, se deberá hacer un plan de ordenamiento hídrico con el fin de establecer los tipos de agua pertenecientes a dicha región además de identificar todos los cuerpos de agua, nivel poblacional, controles, entre otros aspectos que influyan en la modificación del recurso hídrico. Instaura prohibición de vertimientos en sectores como calles y carreteras, reglamenta los aspectos relacionados con vertimientos como la procedencia, los efectos al medio ambiente y los permisos que se deben adquirir para generar vertimientos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial , 2010).

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 3956 de 2009	Establece la norma técnica, para el control y manejo de vertimientos realizados al recurso hídrico, determina los tipos de vertimientos permitidos a corrientes de agua principales, relaciona el procedimiento el muestreo y análisis de muestra de vertimientos de agua y las sanciones a las que se puede incurrir por la violación a la presente resolución (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).
Resolución 631 de 2015	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público dependiendo de la actividad económica de la que se esté realizando el vertimiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Artículos 78, 79 y 80 de la Constitución política de Colombia	Estos artículos hacen parte de la sección de los derechos electivos y de ambiente de la constitución política de Colombia, relaciona los derechos de la comunidad a estar en un ambiente sano, la preservación de lugares ecológicos, así como un aprovechamiento responsable de los recursos naturales, para velar por la salud y la integridad de las personas quien preste servicios debe responsabilizarse de la calidad de los mismos con el fin de velar por la seguridad de la comunidad (Constitución política de Colombia , S.f).

5.4 ÁREA DE INTERES

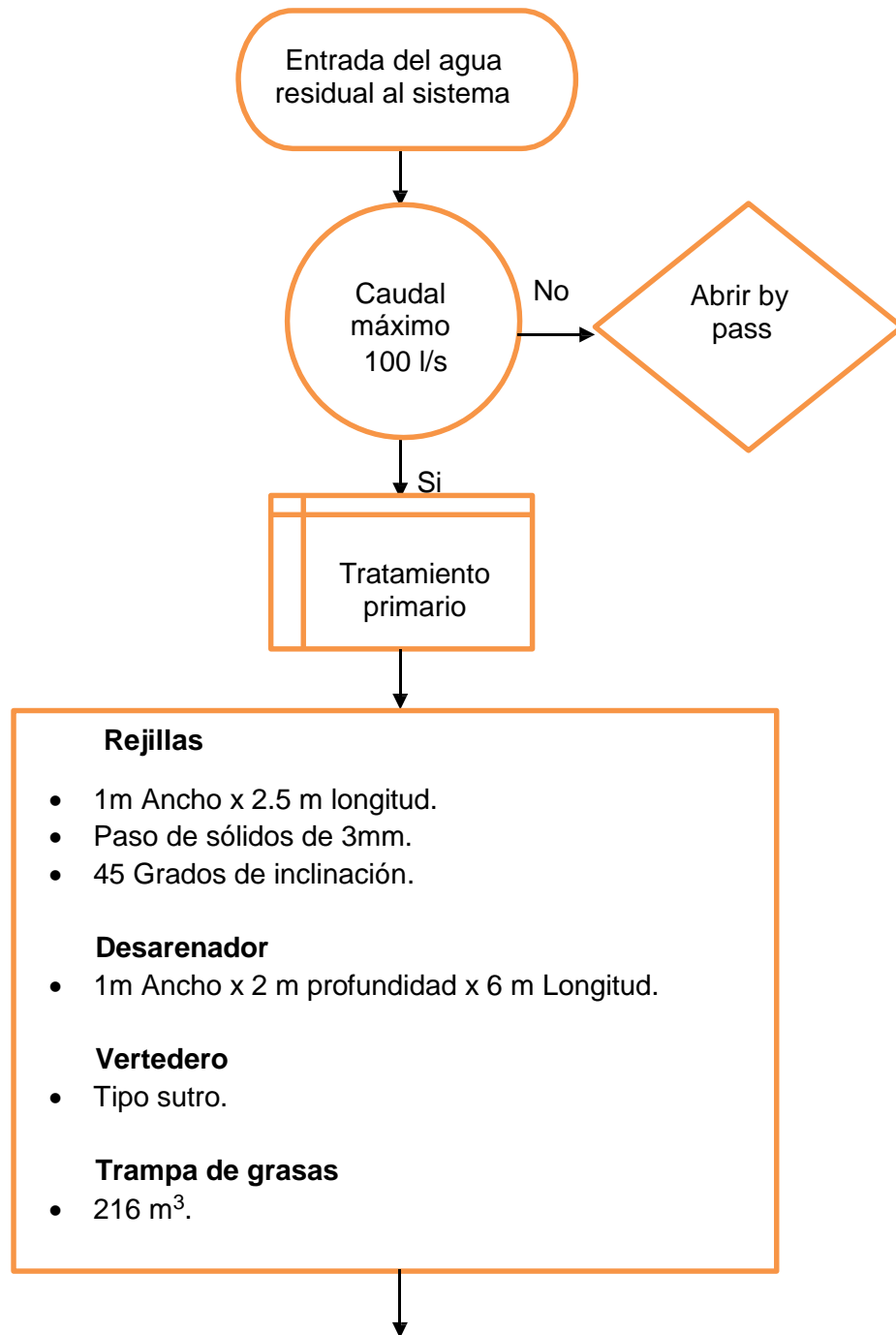
El Municipio de Chía Cundinamarca está ubicado a 32 Km de Bogotá aproximadamente, cuenta con 120.719 habitantes proyectados por el DANE para el año 2013 (Alcaldía Municipal de Chía, S.f). La ubicación de la planta de tratamiento Chía I tiene coordenadas: latitud norte 4°51´42.33", latitud oeste 74°2´30.417".

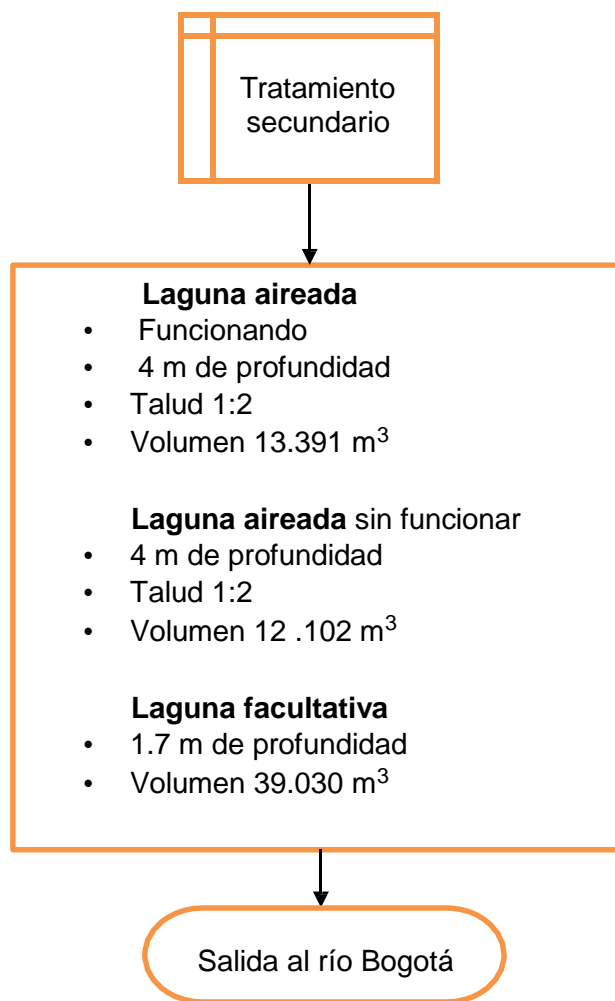
Mapa 1. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Chía Cundinamarca



(Alcaldía municipal de Chía Cundinamarca, 2016)

En el siguiente diagrama de flujo se muestra las unidades de proceso del sistema de tratamiento, en este sistema se tratan aguas combinadas (domésticas, comerciales e industriales), sus parámetros de diseño fueron extraídos del manual de operación del año 2012.





6. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó de acuerdo a etapas coincidentes con los objetivos. A continuación se especificará la metodología y los equipos utilizados para el desarrollo de la investigación.

Objetivo 1. Analizar 6 características del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales Chía I.

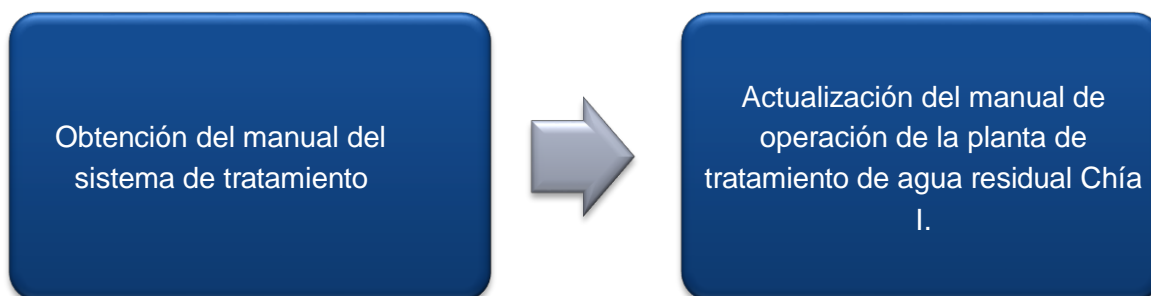


³ IDEAM; *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*; p. 11-12; S.f;

Objetivo 2. Medir y comparar con parámetros ideales las características físico-químicas del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales Chía I.



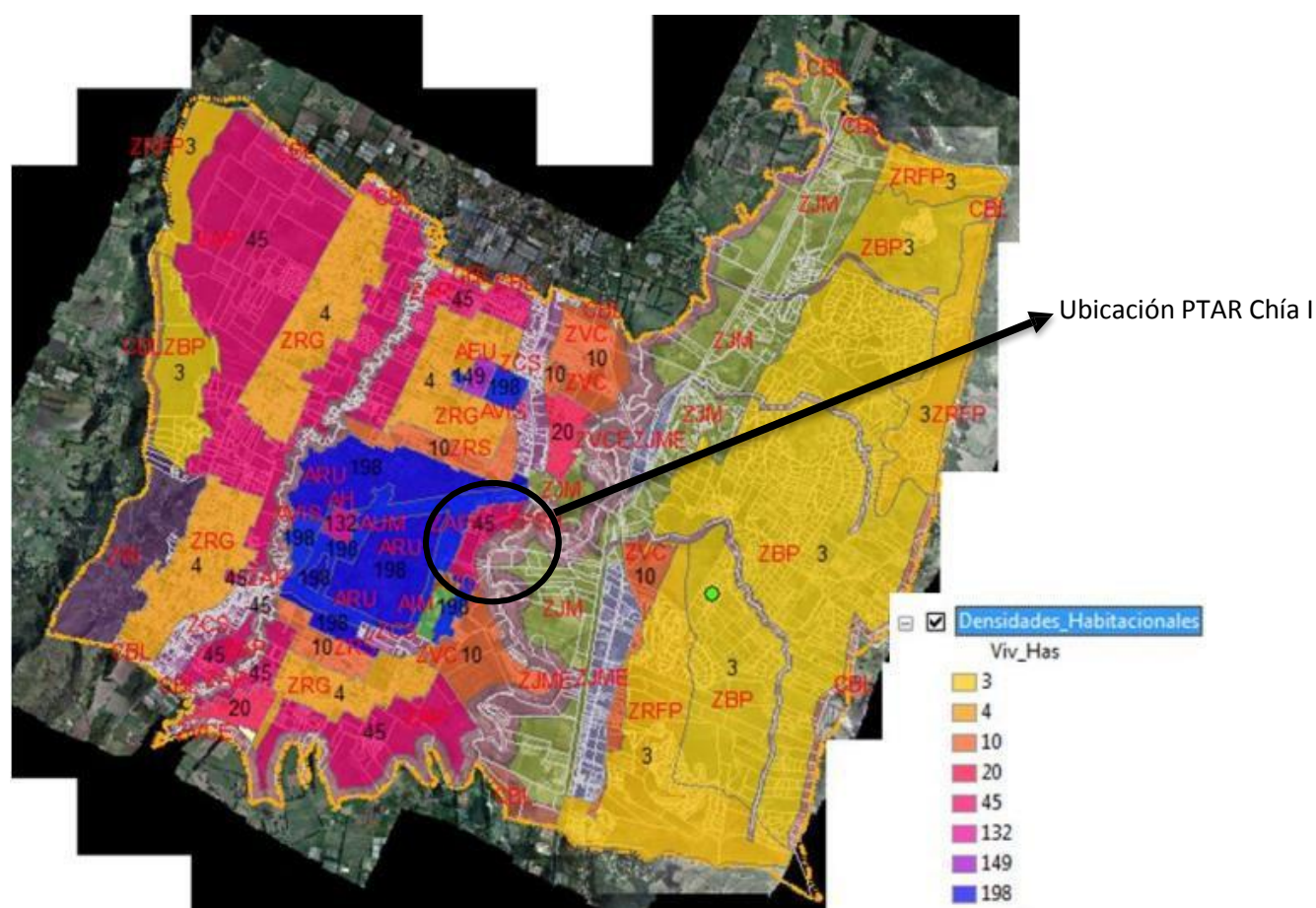
Objetivo 3. Actualizar el manual de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Chía Cundinamarca.



7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para estimar el número de habitantes afectados se seleccionó 45 viviendas, las cuales están cerca del área de influencia del sistema de tratamiento, este valor se multiplico por cuatro que es el promedio de personas por vivienda y se calculó el porcentaje de población afectada. En el porcentaje estimado no se tiene en cuenta la población flotante, es decir que el porcentaje puede ser mayor al calculado.

Mapa 2. Mapa densidad poblacional municipio de Chía Cundinamarca.



(Alcaldía municipal de Chía Cundinamarca, 2013)

En el siguiente capítulo se exponen los resultados obtenidos durante el proceso de investigación. El registro fotográfico de la investigación se encuentra anexo en el capítulo 8 (inmediatamente después del capítulo de resultados y análisis).

El sistema de tratamiento de la PTAR Chía I está integrado por un tratamiento primario y uno secundario como se explicó en el capítulo 5.4, pero debido a fallas constantes presentadas en una de las lagunas aireadas, se tomó la decisión de hacer el estudio para solo dos lagunas con el fin de exponer resultados continuos.

Se relaciona a continuación la tabla general de las visitas realizadas al sistema de tratamiento desde el inicio de la investigación.

Tabla 5. *Visitas realizadas*

FECHA DE VISITAS		
FECHA	OBSERVACIONES	OBJETIVO
Octubre del 2014	Día seco y frio, venteo constante.	Primera visita reconocimiento de campo
Febrero del 2016	Día seco, venteo constante.	Inspección del funcionamiento de la planta.
Abril del 2015	Día seco, venteo constante.	Reconocimiento de campo, uso de multiparámetro, datos invalidados.
Julio del 2015	Día seco	Inspección del funcionamiento de la planta, ningún cambio presentado.
Febrero del 2016	Día seco, soleado	Determinación de pH, temperatura.
Marzo del 2016	Día seco, soleado	Toma de muestras de OD in situ y muestras de agua para análisis en laboratorio.
Mayo del 2016	Día seco, soleado	Toma de muestras de OD in situ y muestras de agua para análisis en laboratorio.
Junio del 2016	Día seco, soleado	Toma de muestras de OD in situ y muestras de agua para análisis en laboratorio.

7.1 RÉGIMEN DE FLUJO

Con el fin de conocer y determinar las fallas en el sistema de tratamiento de aguas residuales, se procede a hacer inicialmente un estudio del funcionamiento hidráulico y poder determinar las condiciones en las que actualmente opera la Planta de tratamiento, para determinar las variables que están influyendo en la generación de malos olores.

Inicialmente se hizo la determinación del régimen del flujo hidráulico tomando datos de velocidad, profundidad, área y caudal de 4 puntos muestreados, los cuales están consignados en la tabla 6; con el fin de ubicar a los lectores se presenta un mapa de la planta donde se ubican los puntos muestreados para esta primera parte de la investigación (véase ilustración 1).

Ilustración 1. Planta de tratamiento de aguas residuales Esquema



(Google, 2016)

Tabla 6. Aforo PTAR Chía I

TABLA DE AFORO						
PUNTO		TIPO DE CANAL	VELOCIDAD (m/s)	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA (m)	AREA (m²)	CAUDAL (m³/s)
1	Entrada PTAR	Rectangular	0,6	0,90	0,17	0,0990
2	Salida trampa de grasa - Entrada laguna aerobia 1	Rectangular	0,5	0,60	0,195	0,098
3	Salida laguna aerobia- Entrada laguna facultativa	Rectangular	0,6	0,62	0,160	0,096
4	Salida PTAR	Trapezoidal	0,9	0,90	0,11	0,099

En el caudal presentado anteriormente para todo el sistema no se presenta variación significativa debida que a la entrada del sistema se regula el caudal de modo que si entra al sistema un caudal mayor a 100 L/s se abre el by pass dejando entrar solo la máxima cantidad establecida en el diseño.

De acuerdo con los datos obtenidos se utilizó la fórmula del Número de Froude para determinar el comportamiento del fluido en los diferentes puntos de entrada y de salida de vertimientos de la PTAR,

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}}$$

En donde:

NF: Número de Froude v:

velocidad promedio g:

gravedad

H: profundidad hidráulica

La determinación del tipo de flujo se da por los siguientes parámetros:

- $NF = 1 \rightarrow$ Flujo crítico
- $NF < 1 \rightarrow$ Flujo sub crítico
- $NF > 1 \rightarrow$ Flujo súper crítico (Mott, 1996).

Aplicando la fórmula para los diferentes puntos resultó:

1. Entrada de la PTAR:

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}} = \frac{0.6 \text{ m/s}}{\sqrt{(\frac{9.8m}{s^2} * 0.90m)}} = 0.20$$

Flujo subcrítico

2. Entrada laguna aerobia 1:

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}} = \frac{0.5 \text{ m/s}}{\sqrt{(\frac{9.8m}{s^2} * 0.60m)}} = 0.20$$

Flujo subcrítico

3. Entrada laguna facultativa:

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}} = \frac{0.6 \text{ m/s}}{\sqrt{(\frac{9.8m}{s^2} * 0.62m)}} = 0.24$$

Flujo subcrítico

4. Salida PTAR:

$$NF = \frac{v}{\sqrt{(g * H)}} = \frac{0.9 \text{ m/s}}{\sqrt{(\frac{9.8m}{s^2} * 0.90m)}} = 0.30$$

Flujo subcrítico

En los cálculos anteriormente presentados se determinó que de los 4 puntos muestreados la totalidad de ellos presentó flujo subcrítico, por lo cual se puede determinar que no se presenta una variación significativa en el régimen de flujo a lo largo del sistema ni a la salida de éste.

Se aclara que estos datos fueron determinados en tiempo seco, pero en épocas de lluvia se puede presentar variaciones, por lo que se recomienda que en temporadas lluviosas se realice este tipo de análisis para documentar las variaciones que se pueden generar en tiempos húmedos y si estas variaciones repercuten en el funcionamiento de la planta de tratamiento.

No se pudo realizar mediciones en época de lluvia por que se solicitaban las visitas a la entidad encargada de la planta, pero ellos eran los que programaban las fechas definitivas de las visitas.

7.2 TIEMPO DE TRÁNSITO

Para la determinación del tiempo de tránsito se tomaron los datos registrados en campo y la utilización de la fórmula presentada a continuación y se obtuvieron los siguientes resultados.

$$t = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 4. Formula de tiempo de tránsito.

t= Tiempo de tránsito
V= Velocidad
Q= Caudal

Se determinó los tiempos de tránsito o de retención de los sistemas biológicos, obteniendo como resultado los siguientes datos.

Tabla 7. Tiempo de tránsito de los sistemas biológicos

TIEMPO DE TRÁNSITO SISTEMAS BIOLÓGICOS						
PUNTO	VOLUMEN (m ³)	CAUDAL (m ³ /s)	TIEMPO DE TRÁNSITO (s)	TIEMPO DE TRÁNSITO (d)	TIEMPO DE TRÁNSITO ESTUDIO ANTERIOR ROMEROJ.A (d)	TIEMPO DE TRÁNSITO IDEAL ECKEFELDER (d)
Laguna aireada	13191	0,096	137406,25	2	2	2-6
Laguna facultativa	39030	0,098	398265,31	4	9	7-50

Se determinó que para la laguna aireada el tiempo de retención es de 2 días aproximadamente y para la laguna facultativa 4 días aproximadamente, demostrando una diferencia significativa, haciendo la comparación con estudios realizados anteriormente como en el citado (Romero J. A., 1994), donde se menciona un tiempo de retención de 2 días y 9 días respectivamente, esta disminución en el tiempo de retención puede deberse a los cambios estructurales de la planta desde su construcción hace 25 años hasta la actualidad, unos de sus rediseños estructurales fue el del tratamiento primario y la adición de más cámaras de ingreso en las entradas de flujo de las lagunas.

Teniendo en cuenta los valores ideales de tiempos de retención para las dos lagunas, la laguna que presenta un desfase significativo es la facultativa ya que el tiempo de tránsito debe ser mayor a 6 días; esta disminución del tiempo de retención puede generar deficiencias en la calidad del efluente de agua residual tratada debido a que los microorganismos no residen el tiempo indicado para que el tratamiento sea ideal.

7.3 BATIMETRÍA

Para la realización de la batimetría se utilizó como equipo la mira, con el fin de tomar las medidas de alturas de lodos para dos lagunas del sistema de tratamiento.

Teniendo en cuenta que la primera laguna (aerobia) consta de una profundidad de 4 metros (profundidad de diseño), la segunda laguna (facultativa) tiene una profundidad de 1.7 metros (profundidad de diseño), los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Se realizó la batimetría para la laguna aireada y se encontró que aproximadamente tiene 2 metros de grosor en lodos, lo que contribuye a la generación de estados anaerobios en la laguna aerobia, produciendo pérdida de la función de la laguna y generación de malos olores, el volumen de lodo acumulado para la laguna aireada se estimó alrededor de los 9.466 m^3 , generando una reducción del 40% del volumen efectivo.

En la batimetría de la laguna facultativa se encontraron menos cantidad del lodos, en ningún punto de muestreo sobrepasa el metro de lodos, sin embargo el volumen de lodo acumulado para esta laguna se estimó alrededor de los 25.868 m^3 , generando una reducción del 34% del volumen efectivo.

Adicionalmente el día de muestreo de la batimetría se estaba realizando remociones de lodo, los cuales están siendo conducidos por presión a un Biodigestor con el fin de extraerle todo el líquido, adicionándole polímeros para que se agrupen los sólidos.

Estos lodos una vez estuviesen secos eran depositados a un terreno aledaño a la laguna facultativa pero sin ningún tipo de tratamiento preliminar lo que puede generar contaminación a los suelos debido a las sustancias que puedan tener estos sólidos y pudiendo contribuir con la emisión de malos olores.

Ilustración 2. Biodigestor.



(Autor,2016)

Es importante realizar el estudio de batimetría a las lagunas aproximadamente cada 4 años con el fin de controlar la sedimentación de lodos en las lagunas.

Se realizó un plano donde se puede evidencia gráficamente las curvas de nivel de los lodos de las dos lagunas estudiadas, el plano general se encuentra en archivo (PDF) como ANEXO 1 Plano general, el plano de la laguna aireada se encuentra en archivo PDF como ANEXO 2 Plano laguna aireada y por último plano de la laguna facultativa se encuentra en archivo PDF como ANEXO 3 Plano laguna facultativa.

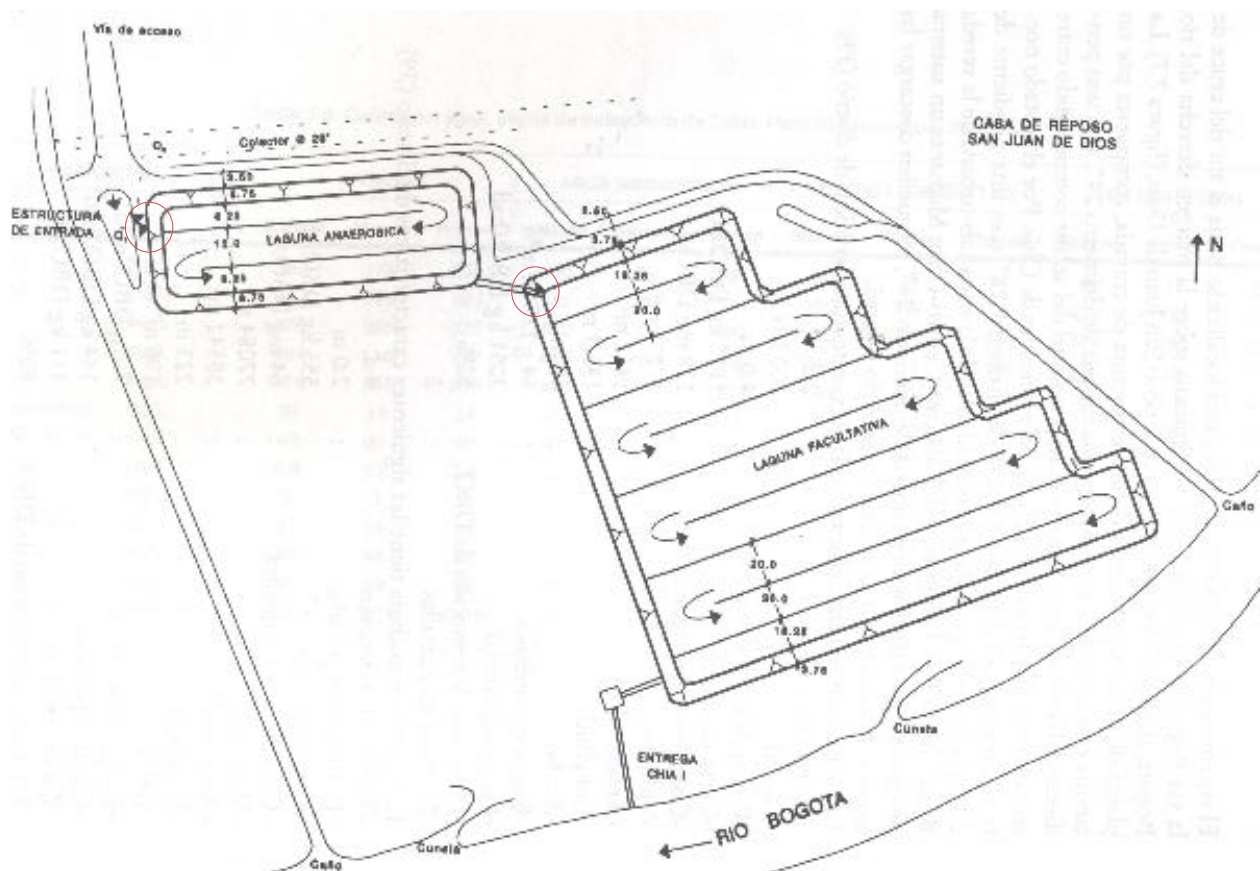
Con la realización de las curvas de nivel se evidencia que en la laguna aireada los lodos se concentran más en los alrededores de la misma, esto puede deberse a que las burbujas de oxígeno proporcionadas por los aireadores no tiene el radio suficiente o no están correctamente distribuidas para oxigenar completamente la laguna, generando zonas muertas.

En cuanto a la laguna facultativa, debido a que esta presenta una geometría irregular, el flujo dentro de la laguna es discontinuo generando zonas donde el flujo se estanque y forme áreas muertas con acumulación de lodos, al igual que en la laguna aerobia se presentan cantidades de lodos al borde, pero estos no son tan altos como en la laguna aireada.

7.4 LÍNEAS DE FLUJO

Según (Romero J. A., 1994) anteriormente en las dos lagunas estudiadas se contaba solo con una entrada y una salida de flujo (Véase la ilustración 3).

Ilustración 3. Entradas de flujo anteriores de la PTAR Chía 1



(Romero J. A., 1994)

Se realizó una reestructuración en la planta de tratamiento con el fin de optimizarla, haciendo modificaciones estructurales en la zona del tratamiento primario, se realizaron cambios en la cámara de llegada, en el sistema de cribado, se cambió el tipo de vertedero, anteriormente el vertedero era de tipo rectangular de cresta delgada; adicionalmente se adicionaron cámaras de distribución del agua de las lagunas, puesto que antes solo se tenía una entrada y una salida de flujo.

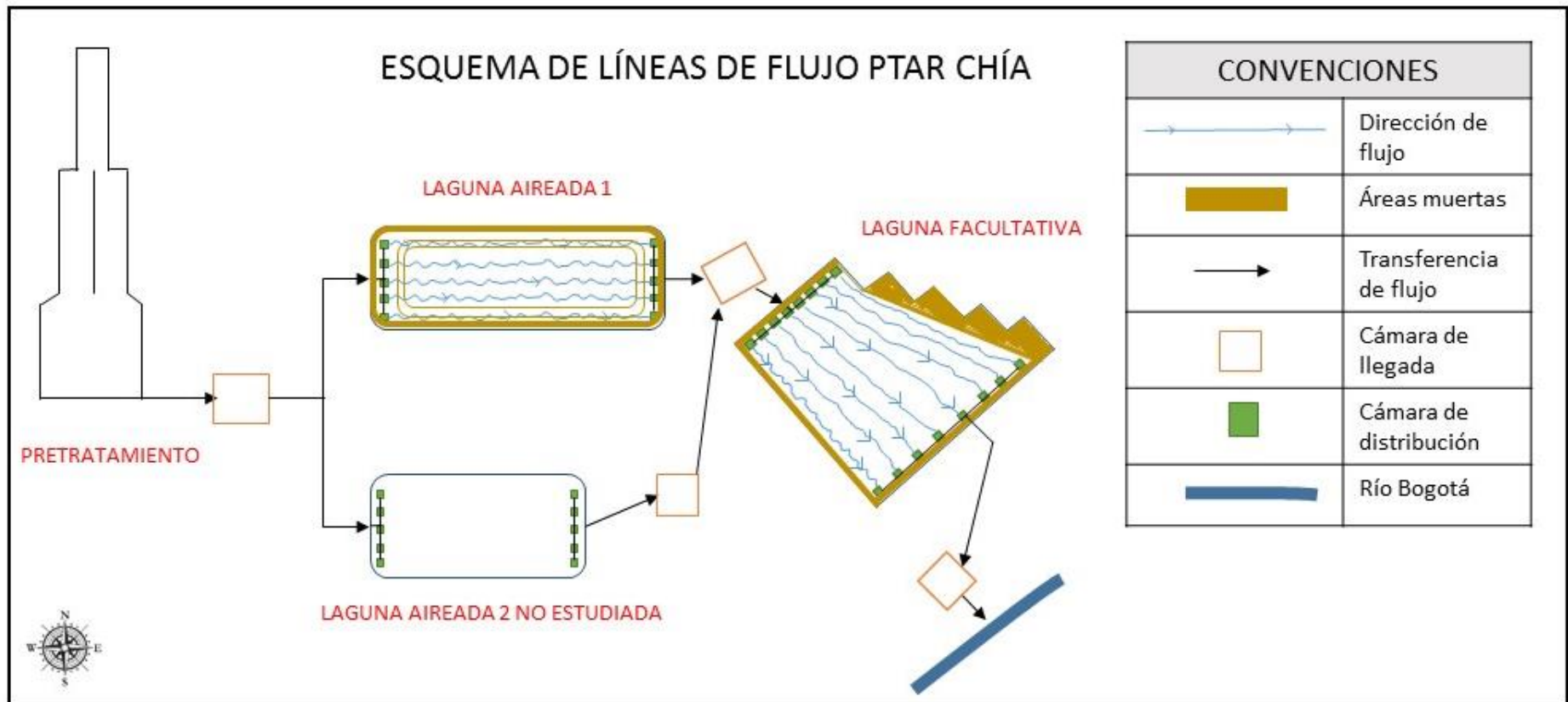
Actualmente la laguna aireada cuenta con 5 entradas de distribución y 5 salidas de distribución de flujo, para la laguna facultativa se cuenta con 8 entradas y 8 salidas con el fin de generar una mayor estabilidad en la corriente del agua. Se realizó un esquema para evidenciar gráficamente lo anteriormente expuesto.

Debido a la acumulación de lodos de la laguna aireada 1 se puede presentar flujo turbulento, generado por la presencia de desniveles en la laguna. Para la laguna facultativa no se evidencio desniveles tan pronunciados como en la laguna aireada, sin embargo como los lodos están ubicados en las orillas de la misma si se podrían generar flujos turbulentos dentro de esta laguna.

En las visitas realizadas al sistema y en comparación con la batimetría se encuentra que en las dos lagunas existe presencia de zonas muertas, estas zonas se encuentran en los bordes de las lagunas generando colmatación en la planta y generación de natas de aceite.

Los soportes que se toman como base para la realización del siguiente esquema, fueron la batimetría realizada a las lagunas y las visitas periódicas al sistema.

Ilustración 4. Esquema líneas de flujo PTAR Chía I



(Autor,2016)

Uno de los factores encontrados con la realización de la batimetría y el estudio de líneas de flujo fue la presencia de cortocircuitos en los sistemas biológicos; los cortocircuitos se presentan en flujos no ideales, es decir en flujos donde se presentan condiciones de reactores de flujo mixto. Los cortocircuitos, se pueden presentar por la presencia de zonas muertas y grandes cantidades de lodo, ocasionando la alteración de la velocidad y dirección del flujo (Yactayo, 1992).

Adicional a ello se encuentra la presencia de cortocircuitos en las lagunas, generado por el corto tiempo de retención, presentados en los sistemas biológicos. La morfología de la laguna facultativa, debido a la figura escalonada que esta presenta, genera cortocircuito hidráulico. Los cortocircuitos pueden presentar anomalías en el funcionamiento de las lagunas y con ello la generación de malos olores en las mismas.

7.5 AIREADORES

Los aireadores están ubicados en las dos lagunas principales pero debido a las continuas fallas de una de las lagunas aireadas solo se enfocó la revisión y el análisis en la laguna aireada 1. Se muestra a continuación cual es la laguna aireada estudiada.

Ilustración 5. Esquema de la planta de tratamiento de agua residual.



(Google, 2016)

Esta laguna cuenta con:

- 41 difusores tipo burbuja fina.
- Membrana: 1" (2.54 cm)
- Altura: 4" (10.2 cm)
- Diámetro: 22" (55.9 cm)
- Peso: 5 lbs. (2.23 Kg)
- Interferencia de flujo: 1"
- Área superficial efectiva: 680 In² (17.27 m²)
- Capacidad de transferencia de oxígeno: 4.75 lb O₂ / Hr / HP
- La transferencia de oxígeno es proporcionada por un motor eléctrico.

La siguiente información fue extraída del manual de operación planta de aguas residuales el Municipio de Chía, 2012.

En las visitas de campo realizadas al sistema se evidenció que no todos los aireadores están generando el mismo radio de burbuja pudiendo ser producido por taponamiento de los mismos, adicional a ello en el espacio de separación de la membrana se están generando natas de aceite, esto puede ser debido a falta de mantenimiento en el tratamiento primario.

Ilustración 6. Aireadores



(Autor, 2016)

7.6 REACTORES

De acuerdo con las visitas realizadas a la planta de tratamiento de agua residual Chía I, la teoría investigada y los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación se determina que las dos lagunas estudiadas presentan condiciones de reactores tipo flujo continuo y mezcla completa.

En la siguiente tabla se encuentran las diferencias de un reactor flujo mezcla completa Vs un reactor flujo pistón, las cuales determinaron el tipo de reactor presentado en las lagunas de tratamiento estudiadas.

Tabla 8. Características reactor flujo mezcla completa Vs. Reactor flujo pistón

REACTOR DE FLUJO CONTINUO Y MEZCLA COMPLETA	REACTOR FLUJO PISTÓN
Carga contaminante extendida a lo largo del reactor	Carga contaminante dividida a lo largo del sistema
Presenta aireación continua en el sistema	Presenta aireación gradual, es decir la aireación a la entrada del reactor es mucho mayor que a la salida del mismo.
El flujo se mezcla inmediatamente con el contenido del reactor	Debido a que los reactores flujo pistón presentan pantallas que dividen en secciones el mismo, el fluido nunca está en completa mezcla
Geometría cuadrada	Geometría tubular

(Romero J., 2002).

7.7 CALIDAD DEL AGUA

Se realizó análisis de calidad del agua, para determinar el estado físico-químico del agua y verificar el cumplimiento normativo frente a algunos parámetros exigidos por la legislación para vertimientos puntuales. Estableciendo las variables generadoras de malos olores.

Inicialmente se tomaron datos con el multiparámetro Horiba U-50 con el fin de tener una primera aproximación respecto a las condiciones de la planta, solo se hacen válidos los parámetros de temperatura, pH y turbidez, ya que los demás se invalidan debido a fallas del equipo; los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Una vez obtenidos los datos iniciales y con el fin reconocer a fondo el estado físico-químico de la planta de tratamiento, se determinó ir a campo para reconocer cuanto oxígeno disuelto tenía el sistema por el método yodométrico modificación de azida, ya que la planta de tratamiento producía olores molestos constantes y prolongados en el sistema pudiendo ser producidos por falta de oxígeno. En la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos en campo.

Tabla 9. Datos multiparámetros Horiba

MULTIPARÁMETRO HORIBA IN SITU								
PUNTO DE MUESTREO	TEMPERATURA (°C)	pH	ORP	CONDUCTIVIDAD (mcS/cm)	TURBIDEZ (NTU)	SÓLIDOS g/L TDS	SALINIDAD (ppt)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Entrada de agua residual	21.11	6.19	-168	0.993	463	0.636	0.5	N 4°51'41.9" E 74°02'30.6"
Después del vertedero	20.98	6.30	-161	0.998	380	0.633	0.5	N 4°51'41.2" E 74°02'30.4"
Laguna aerobia	20.97	6.55	-186	1.00	228	0.642	0.5	N 4°51'40.9" E 74°02'29.5"

Ilustración 7. Esquema y puntos de muestreo de la Planta de tratamiento de aguas residuales Chía.



(Google, 2016)

Tabla 10. Resultados OD

RESULTADOS DE OXÍGENO DISUELTO IN SITU					
FECHA DE MUESTREO	OBSERVACIONES	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	TIPO DE MUESTREO	RESULTADO
Marzo del 2016	Día seco, soleado	Entrada PTAR	N 4°51'41.9" E 74°02'30.6"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Laguna aerobia	N 4°51'40.9" E 74°02'29.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Salida PTAR	N 4°51'38.0" E 74°02'21.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
Mayo del 2016	Día seco, soleado	Entrada PTAR	N 4°51'41.9" E 74°02'30.6"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Laguna aerobia	N 4°51'40.9" E 74°02'29.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Salida PTAR	N 4°51'38.0" E 74°02'21.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
Junio del 2016	Día seco, soleado	Entrada PTAR	N 4°51'41.9" E 74°02'30.6"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Laguna aerobia	N 4°51'40.9" E 74°02'29.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto
		Salida PTAR	N 4°51'38.0" E 74°02'21.5"	Puntual	No contiene oxígeno disuelto

Los resultados obtenidos como se visualizan en la tabla anterior, revelaron que en las muestras analizadas no se presentaba oxígeno disuelto.

Esto se concluye puesto que una vez realizado el muestreo, el analito queda con un precipitado color blanco, si este tuviera oxígeno disuelto este precipitado quedaría color marrón-café. A continuación se anexa registro fotográfico.

Ilustración 8. OD in situ



(Autor, 2016)

El oxígeno disuelto en plantas de tratamiento de agua residual de tipo aerobia, es muy importante debido a que generalmente en estos sistemas se encuentra materia orgánica que es descompuesta por microorganismos, los cuales usan el oxígeno disuelto para realizar la descomposición de la materia, si el agua residual no tiene oxígeno disuelto los microorganismos no pueden realizar este proceso correctamente.

Aproximadamente para que los organismos aerobios tengan un desarrollo biológico normal el oxígeno disuelto debe estar en el orden de 1-2 mg/l (CIMCOOL, 2004).

El oxígeno juega un papel fundamental en el tratamiento de aguas residuales, pues este es el encargado de condicionar cual será el tipo de microorganismos encargados para la degradación de la materia orgánica (Varila & Díaz, 2008).

Se decidió realizar un análisis especificando las variables de calidad del agua y compararlo con la resolución 631 de 2015, debido a que los objetivos de calidad encontrados en el POMCA del río Bogotá no especifica las variables para calidad del agua; sin embargo la resolución 631 de 2015 especifica cuáles deben ser las variables y los límites permisivos para vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.

Se determinó la carga de DBO_5 debido a que la Resolución 631 del 2015 estandariza los límites permisibles de acuerdo a este parámetro, el resultado se obtuvo tomando la concentración a la entrada de la planta de DBO_5 y multiplicándola por el caudal promedio de entrada, resultando que la carga de DBO_5 es de 1.034.98 Kg/día.

Tabla 11. Análisis de calidad de agua en laboratorio PTAR Chía I

RESULTADOS DE LABORATORIO									
MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	OBSERVACIONES	TIPO DE MUESTREO	MÉTODO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA DQO (mg O ₂ /L)	% de remoción	MÉTODO SECADO EN AGUA 103-105° C SST (mg/L)	MÉTODO PHMETRO DIGITAL pH	MÉTODO KJELDAHI N. total (mg/L)	MÉTODO INCUBACIÓN DBO ₅ (mg/l)
Entrada PTAR	mar-16	Día seco, soleado	Puntual	347,73	0	423,35	7	72,8	121
	may-16	Día seco, soleado	Puntual	347,75	0	423,32	7,1	72,6	122
	jun-16	Día seco, soleado	Puntual	347,78	0	423,31	6,9	72,9	119
	PROMEDIO		Puntual	347,75	0,00	423,33	7,00	72,77	121
Laguna aerobia	mar-16	Día seco, soleado	Puntual	249,66	28,2	339	7,4	86,9	112
	may-16	Día seco, soleado	Puntual	249,69	28,1	338	7,7	86,6	110
	jun-16	Día seco, soleado	Puntual	249,67	28,4	340	7,6	86,8	108
	PROMEDIO		Puntual	249,67	28,23	339	7,57	86,77	110,00
Salida PTAR	mar-16	Día seco, soleado	Puntual	141,67	43,24	360	7,3	114,6	25
	may-16	Día seco, soleado	Puntual	141,66	43,25	361	7,5	114,8	24
	jun-16	Día seco, soleado	Puntual	141,68	43,27	360	7,1	114,9	26
	PROMEDIO		Puntual	141,67	43,25	360	7,30	114,77	25,00
			RESOLUCION 631/2015	Cumple	No lo exige la norma	No cumple (90 mg/L)	Cumple	Hacer reporte y analizar	Cumple

Cada uno de estos análisis se realizó en el laboratorio de aguas de la Universidad Libre, los resultados mostrados anteriormente se calcularon cada uno por triplicado con el fin de tener una mayor precisión en los resultados. Se realizó un análisis de cada uno de los parámetros enfocado en el cumplimiento de la normatividad.

DQO

De acuerdo a la resolución 631 de 2015 la máxima concentración de DQO en el vertimiento a un cuerpo superficial de agua debe ser de 180 mg/L, valor que se cumple a la salida del sistema de tratamiento con un 141,67 mg/L.

Con respecto al porcentaje de remoción el cual es calculado a partir del DQO no es lo suficientemente óptimo, esto puede deberse a falta de control o mantenimiento en el tratamiento primario o poca descomposición de materia orgánica por falta de oxígeno.

SST

Con respecto a este parámetro, y de acuerdo a la resolución 631, el vertimiento actual no cumple con el valor máximo permisible, siendo excedido y denotando que el sistema presenta niveles altos de lodos esto se los cuales afectan efectividad del sistema a causa de la re suspensión de lodos acumulados en el fondo.

NITRÓGENO TOTAL

Los resultados muestran el incremento de este parámetro durante el paso del agua residual en el sistema de tratamiento, pudiendo ser a causa del exceso de biomasa o lodos dentro de las lagunas, hecho que se debe confirmar realizando batimetría al sistema de lagunas, adicional a ello los altos niveles de nitrógeno pueden presentarse también por la producción de algas en la laguna facultativa.

pH

En las pruebas in situ se evaluó el muestreo a una distancia aproximada de 1 metro de los aireadores de las dos lagunas muestreadas estando en un rango de 6 – 6.5 lo cual no varía significativamente de los datos resultantes en el análisis del laboratorio.

Las variaciones en el PH no son considerables, mostrando un ambiente adecuado para el desarrollo de los microorganismos encargados de realizar la depuración de las aguas residuales en este tipo de sistemas.

DBO₅

Con los resultados obtenidos se evidenció un cumplimiento de la resolución 631 del 2015 por parte de la PTAR en cuanto a la concentración de DBO₅, pero esta no es suficiente para ser una planta con laguna aireada, esto puede deberse a la ubicación actual de los aireadores.

Los siguientes análisis se realizaron in situ en el mes de julio, todo un mismo día en compañía de los estudiantes de noveno semestre de la materia tratamiento de aguas, los resultados determinados en laboratorio fueron similares en comparación con los resultados obtenidos in situ.

Tabla 12. *Determinación de DQO in situ*

DQO Agua Entrada Planta		DQO	400,00
Prueba			mg/l
	1		
	2		
	3		

DQO Agua Salida Laguna Aerobia	DQO	213,33
Prueba		mg/l
1		
2		
3		

DQO Agua Salida Laguna Facultativa	DQO	133,33
Prueba		mg/l
1		
2		
3		

Con los datos obtenidos en laboratorio se determinaron las siguientes variables comportamentales actuales para cada una de las lagunas, con el fin de comparar los criterios ideales contra los criterios actuales de las dos lagunas del sistema de tratamiento.

Tabla 13. Variables de comportamiento

COMPORTAMIENTO ACTUAL LAGUNA AIREADA	
DBO ₅ (mg/L) Entada	121
DBO ₅ (mg/L) Salida	110
DQO (KgO ₂ /m ³)	0,24967
Q (L/s)	96
t (días)	2
v (m3)	13191
A (ha)	0,8606
COS (kgDBO ₅ /ha*d)	1166,19
COV (KgDQO/m ³ *d)	156,09
EFICIENCIA (%)	9,1

COMPORTAMIENTO ACTUAL LAGUNA FACULTATIVA	
DBO ₅ (mg/L) Entrada	110
DBO ₅ (mg/L) Salida	25
DQO(KgO ₂ /m ³)	0,1467
Q (L/s)	98
t (días)	4
v (m3)	39030
A (ha)	12,9341
COS (kgDBO ₅ /ha*d)	72,01
COV (KgDQO/m ³ *d)	31,82
EFICIENCIA (%)	77,3

Para cada una de las lagunas se determinó la eficiencia, con respecto a la concentración de DBO₅ de entrada y de salida, encontrándose que la eficiencia de la laguna aireada es muy baja, puesto que para lagunas aireadas se espera una eficiencia mínimo del 30%, el valor de eficiencia tan bajo puede ser debido a las problemáticas antes mencionadas como la acumulación de lodos, ubicación de aireadores o tiempo de retención.

Según (Jaramillo, 2005) la carga orgánica que por unidad de volumen recibe diariamente la totalidad de la biomasa puede determinar el tipo de reactor del sistema de tratamiento, para reactores anaerobios la COV está dentro de los rangos de 1.0 KgDQO/m³*d e igual o superior a 30.0 KgDQO/m³*d; por lo cual para las dos lagunas estudiadas se puede constatar que presentan condiciones anaerobias.

COMPARACIÓN CRITERIOS IDEALES Vs. CRITERIOS ACTUALES

Tabla 14. *Diseño ideal Vs. Diseño actual PTAR Chía I*

CRITERIO	DISEÑO IDEAL		DISEÑO ACTUAL	
	LAGUNA		LAGUNA	
	AEROBIA	FACULTATIVA	AEROBIA	FACULTATIVA
Profundidad (m)	0.15-0.45	1.00 - 2.50	4	1.7
Tiempo de retención (días)	2 A 6	7 A 50	2	4
Kg DBO ₅ / ha día	100 - 200	200 - 500	1166.19	72.01
% DBO eliminada	80 - 95	79 - 95	9	77

Realizando una comparación con los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación contra algunos parámetros ideales para las lagunas de estabilización, se encuentra diferencias significativas en cada uno de los criterios de diseño ideales no solo en la parte estructural, sino también en la parte de funcionamiento como lo es el tiempo de retención y cantidad másica de DBO₅; influyendo en las falencias encontradas en la planta de tratamiento durante el desarrollo de la investigación.

Uno de los valores más significativos en la tabla anterior fueron los reportados para la laguna aireada, puesto que de los cuatro parámetros a evaluar solo cumple con uno, demostrando que el sistema presenta problemas de funcionamiento hidráulico en las condiciones actuales.

7.8 MANUAL DE OPERACIÓN

El manual de operación de la planta de tratamiento de agua residual Chía I fue actualizado debido a que el manual con el que contaba la planta era del año 2012 y con el desarrollo de esta investigación se evidenciaron diferentes recomendaciones y alternativas que sirven para mejorar los procesos de tratamiento de agua residual, haciendo estos más puntuales.

Adicionalmente la actualización del manual se presenta como segundo producto de la investigación realizado en la Universidad libre.

El manual de operación de la PTAR Chía I se actualizó teniendo como base el “Manual de operación planta de aguas residuales del municipio de Chía contrato N° 506/2011 Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y Conhydra s.a. esp.”, haciéndole modificaciones puntuales en la portada, redacción de partes existentes, adición de recomendaciones y datos proporcionados por la investigación y anexo de imágenes didácticas donde reflejan actividades e indumentaria que deben utilizar los operarios de la planta.

En el **ANEXO 4** se encuentra el manual de operación de la PTAR Chía I actualizado.

8. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN

Las siguientes fotografías son una recopilación del proceso de investigación en la planta de tratamiento del municipio de Chía Cundinamarca, estas fotografías fueron tomadas por la autora del proyecto de investigación.



Imagen 1. Rejillas



Imagen 2. Trampa de grasas



Imagen 3. Vertedero tipo sutro



Imagen 4. Análisis OD in situ



Imagen 5. Análisis OD in situ



Imagen 6. Lodos laguna aerobia



Imagen 7. Laguna facultativa



Imagen 8. Laguna aerobia



Imagen 9. Aireadores



Imagen 10. Canal laguna aerobia a laguna facultativa



Imagen 11. Laguna facultativa



Imagen 12. Contaminación laguna aireada

9. CONCLUSIONES

Con las características analizadas del funcionamiento hidráulico actual de la planta de tratamiento de agua residual Chía I se puede concluir que:

- No existe variación significativa del régimen de flujo hidráulico en la PTAR Chía I, sin embargo con la realización del aforo se pudo determinar que el tiempo de retención de la laguna facultativa es muy corto comparándolo con parámetros de diseño ideales, generando inadecuado tratamiento del agua residual, puesto que los microorganismos no residen el tiempo suficiente para hacer la reducción de materia esperada.
- Con relación a la batimetría se encuentra una gran cantidad de lodos en la laguna aireada, produciendo flujo turbulento a lo largo de la misma, así mismo generando zonas muertas y aumento de áreas colmatadas en los bordes de la laguna.
- Como se menciona en el capítulo de resultados y análisis los lodos extraídos de la laguna facultativa pasan por un Biodigestor que los seca y luego son depositados en un área cercana a las lagunas, estos sólidos no tienen un tratamiento previo a su disposición en el suelo, ni se toman medidas preventivas para no contaminar el suelo como poner una membrada o algún material que evite el contacto de los sólidos con el suelo, generando posible contaminación al suelo.
- Se concluye que las dos lagunas son reactores tipo flujo pistón debido a que presentan condiciones comportamentales del mismo, sin embargo para el tratamiento de aguas residuales los reactores ideales son los reactores tipo mezcla completa, debido a que proporcionan una mayor eficiencia al sistema, en cuento a los criterios de degradación biológica.

- Los criterios de diseño como lo son el tiempo de residencia, carga de DBO_5 , eficiencia de las lagunas y profundidad no coinciden con los criterios de diseño ideales evidenciando un falencias en el funcionamiento del sistema.

En cuanto a las características físico-químicas analizadas se concluye que:

- Con los datos obtenidos en las últimas visitas se encontró que existe déficit en el oxígeno disuelto de la PTAR Chía I, esto puede ser debido a la inadecuada ubicación de los aireadores de la laguna aireada, ya que éstos no alcanzan a airear la totalidad de la laguna.
- Con el análisis de calidad del agua realizado se encontró que la planta de tratamiento incumple con uno de los parámetros límites legales, el cual es el de los sólidos suspendidos totales ya que en el vertimiento de la planta al Río Bogotá supera el límite permisible; en cuanto a los demás parámetros analizados están en el rango de permisibilidad.

10. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar una limpieza periódica y correctamente de las trampas de grasa y rejillas debido a que se presentan grasas y sólidos en la laguna aerobia lo cual no es común en un sistema que contiene tratamiento primario contribuyendo a la poca remoción de sólidos y pérdida en la efectividad del sistema aerobio.
- Se recomienda realizar una inspección a los 41 difusores del sistema de lagunas debido a que en visitas a la planta se visualiza que algunos de estos están obstruidos y otros presentan una abertura muy grande lo que genera que la burbuja sea grande y salga del sistema más rápido, lo que generaría que no se produjera el proceso de aireación correctamente.

En la siguiente tabla se relacionan los aspectos significativos según el punto crítico encontrados a lo largo de la investigación.

Tabla 15. *Puntos críticos encontrados durante la investigación*

ASPECTOS ENCONTRADOS EN LA INVESTIGACIÓN	
PUNTO CRÍTICO	OBSERVACIONES
Equipamiento	Falta de equipos de mediciones de calidad del agua, estado de deterioro de balsa para la limpieza de lagunas.
Procesos	Inadecuado mantenimiento en las trampas de grasas, procedimiento de limpieza de lagunas inadecuada se encuentra presencia de natas de grasa.
Seguridad	Falta de elementos de seguridad como barandas y delimitación de zonas potencialmente riesgosas, no se encuentran los equipos de primeros auxilios cerca, falta de vallas informativas o preventivas.

11. BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Chía Cundinamarca. (Julio de 2016). *Mapa de ubicación geográfica de Chía Cundinamarca*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de Chía Cundinamarca: <http://www.chia-cundinamarca.gov.co/POT2016/CARTOGRAFIA/>. Escala 1:2.500.000

Alcaldía Municipal de Chía. (S.f). *Chía-Cundinamarca*. Obtenido de Chía-Cundinamarca: <http://www.chia-cundinamarca.gov.co/>

Alcaldía municipal de Chía Cundinamarca. (01 de 10 de 2013). *Mapa densidad poblacional Chía Cundinamarca*. Recuperado el 15 de diciembre de 2014, de Secretaria de planeación

Alcaldía municipal de Chía Cundinamarca, Caracterización población en Chía.: <http://planeacion.chia-cundinamarca.gov.co/images/pdf/osiae/Analisis%20demografia%20Chia%2024102013.pdf>. Escala no definida.

Carlini, M. F. (2003). Problemas Operacionales en Plantas de Tratamiento. Argentina.

Carvajal, E., & Esparragoza, R. (Febrero de 2008). Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Floridablanca.

CIMCOOL. (2004). *CIMCOOL*. Recuperado el 2016, de CIMCOOL: <http://www.cimcool.ca/uploads/downloads/Porqueesimportanteeloxigenodisuelto.pdf>

Comisión Nacional de Agua. (Diciembre de 2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento diseño de lagunas de estabilización. México.

Comisión Nacional del Agua. (2013). Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón*. México D.C.

Congreso de Colombia. (22 de 12 de 1993). *Alcaldía de Bogotá*. Recuperado el 6 de 2016, de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

Congreso de Colombia. (2 de 11 de 1997). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=343>

Constitución política de Colombia. (S.f). *Constitución de Colombia*. Obtenido de Constitución de Colombia: <http://www.constitucioncolombia.com/historia.php>

Contreras, J. (2006). Recuperación y tratamiento de hidrocarburos líquidos de trampas de aceite y grasas de estaciones de servicio de combustible. *Recuperación y tratamiento de hidrocarburos líquidos de trampas de aceite y grasas de estaciones de servicio de combustible*. Lima, Perú.

Corporación Autónoma Regional de Nariño. (2011). *Corponariño*. Obtenido de Corponariño: http://corponarino.gov.co/modules/wordbook/entry.php?com_mode=nest&com_order=

0&entryID=279

Cubillos, A. (S.f de S.f de S.f). *Parámetros y características de aguas residuales*. Lima.

Eckenfelder, W. (1970). *Water Quality Engineering for Practicing Engineers*. New York: Barnes & Noble.

El Tiempo. (17 de Septiembre de 2009). *El 20 por ciento de la población de Chía sufre por malos olores de planta de aguas negras*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-6133730>

ESMERCHÍA E.S.P. (02 de Octubre de 2014). *Esmerchía empresa de servicios públicos de Chía*.

Obtenido de Esmerchía empresa de servicios públicos de Chía:

<http://emserchia.gov.co/home/la-ciudad-de-la-luna-respirara-un-aire-mas-agradable/>

Félez, M. (Enero de 2009). Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. Barcelona, España.

Gonzáles, C. (Octubre de 2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>

Google. (2016). *Esquema Planta de tratamiento de agua residual Chía*. Obtenido de Google Maps Mapa Planta de tratamiento de agua residual Chía: <https://www.google.com.co/maps/@4.8614886,-74.0398911,257m/data=!3m1!1e3?hl=es-419>. Escala 1:500

Guerrero, H., & Pujol, C. (S.f de S.f de S.f). *sadelaplata.org*. Obtenido de [sadelaplata.org](http://www.sadelaplata.org/articulos/guerrero_060901.pdf): http://www.sadelaplata.org/articulos/guerrero_060901.pdf

Hammeken, A., & Romero, E. (2005). *Colección de tesis digitales, Universidad de las Américas Puebla*. Obtenido de Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/indice.html

ICONTEC. (18 de 9 de 2013). Norma Técnica Colombiana NTC 6019. *Norma Técnica Colombiana NTC 6019, etiquetas ambientales tipo I*. Colombia.

ICONTEC. (9 de 02 de 2014). *Sistema de información bibliotecario Universidad Libre*. Obtenido de Sistema de información bibliotecario Universidad Libre, NTC 3639:

Jaramillo, Á. O. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Asociación Colombiana de Ingeniería.

Juana, R. I. (2005). *Proyectos de plantas de tratamiento de aguas* (Vol. 1). Madrid, España: Bellisco ediciones.

LEGIS. (1997). *Régimen legal de medio ambiente*. Bogotá, Buenos Aires, Caracas, Lima, México, Santiago, Miami: Legis editores S.A.

Lizarazo, J. M., & Orjuela, M. (2013). Sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales de Colombia. *Sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales de Colombia. Monografía (especialización en administración en salud pública)*, 27-51. Bogotá, Colombia.

López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Mariñelarena, A. (2006). *Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. Buenos Aires: FREPLATA.

Mendoca, S. R. (2002). *Sistema de lagunas de estabilización*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Acoda.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (21 de 12 de 2012). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (25 de 10 de 2010). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (7 de 03 de 2015). *Ministerio de ambiente*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio de Cultura. (1984). *Consulta de la norma. Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Consulta de la norma. *Alcaldía de Bogotá*: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000, sección II, título E, tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Salud. (S.f). *Consulta de la norma. Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Consulta de la norma. *Alcaldía de Bogotá*: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Ministerio del Medio Ambiente. (5 de 6 de 1995). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1479>

Morgan, J., Revah, S., & Noyola, A. (S.f). Malos olores en las plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos. Coyoacán, México.

Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Prentice Hall.

Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. (2003). *Agua para todos agua para la vida*. Paris: Mundi-prensa libros.

Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima, Perú.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1996). *Ecología y enseñanza rural, Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage>

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de decantadores y sedimentadores*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

Persson, J. (Noviembre de 2000). The hydraulic performance of ponds of various layouts. *The hydraulic performance of ponds of various layouts*. ELSEVIER.

Ramalho, R. S. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté S.A. Barcelona.

Ramalho, R. S. (1991). *Tratamiento de aguas residuales*. Segunda edición. Reverté S.A. Barcelona. 705 p.

Rodríguez, J. (S.f). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Cali.

Rodríguez, J. (S.f). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Cali.

Romero, F., & Mejía, N. (2007). Batimetría del lago Yojoa. *Revista técnico-científica Tatascan*, Honduras.

Romero, J. (2002). *Purificación del agua*. Escuela colombiana de ingeniería.

Romero, J. A. (1994). *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieros.

Secretaría de ambiente. (6 de 7 de 2009). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Alcaldía de Bogotá: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37048#25>

Sámano, D. A., & Sen, M. (2009). *Mecánica de fluidos*. México.

Sans, R., & Ribas, J. d. (1989). *Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

Torres, E. (2014). *Revisión de parámetros de operación y batimetría de la PTAR Chía I. Informe final*. Bogotá. Recuperado el Diciembre de 2014.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (S.f). DADATECA UNAD. Obtenido de DADATECA UNAD: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_21_lodos_activados.htm

Valencia, G. (S.f). Tratamientos primarios. *Tratamientos primarios*. Cali, Colombia.

Varila, J. A., & Díaz, F. E. (2008). *Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activos escala laboratorio*.

Yactayo, V. M. (1992). *Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención*. Lima .